The EECON-30 Conference Joins the Eightieth Birthday Anniversary

Celebration of His Majesty the King Bhumibol Adulyadej

30th Electrical Engineering Conference

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30

หนังสือรวมบทคัดย่อของบทความที่นำเสนอในการประชุม

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- โฟโตนิกส์ (PH)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบความคุมและการวัดคุม (CT)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี

25 - 26 ตุลาคม 2550

FACULTY OF ENGINEERING
KMUTT
EECON - 30

ประธานกรรมการ

รศ.ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรรมการ

อ.บุญช่วย	ทรัพย์มนชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ศิริโรจน์	สิริสุขประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.วิญญู	แสวงสินกสิกิจ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.กิตติพงษ์	มีสวาสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ยศนัย	ศรีอุทัยศิริวงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ดร.ศุภกิตติ์	โชติโก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.เผ่าภัค	ศิริสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.ศิริชัย	แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.พรระพีพัฒน์	ภาสบุตร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.ศุภชัย	ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.เวคิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.มงคล	แซ่เจีย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.สุพัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วรา	วราวิทย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์	อุตตมากร	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผศ.บุญเลิศ	สื่อเฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
อ.สมชาย	ปุญญนิรันดร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
อ.โสภา	แซ่เฮ้ง	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ดร.วันชัย	ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ดร.ธนพัฒน์	สิทธิธรรมวัติ	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.กีรติ	ชยะกุลคีรี	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

กรรมการสมทบ

ดร.ณัฐภพ	นิ่มปิติวัน	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผศ.ปรีชา	สาคะรังค์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
อ.ยิ่งรักษ์	อรรถเวชกุล	มหาวิทยาลัยราชธานี
ดร.เกียรติศักดิ์	ศรีพิมานวัฒน์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
อ.คมสันต์	ดาโรจน์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.สมพร	เรืองสินชัยวานิช	มหาวิทยาลัยนเรศวร

เลขานุการ

ดร.ศุภกิตติ์	โชติโก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยเลขานุการ

รศ.ดร.เรืองรอง	สุลีสถิระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรรมการที่ปรึกษา

รศ.ดร.เอก	ไชยสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ปิยะบุตร	วานิชพงษ์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.อุดมศักดิ์	ยั่งยืน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ภาณุทัต	บุญประมุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุเทพ	มาดารัศมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.วุฒิชัย	อัศวินชัยโชติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

PW3-2

วันพฤหัสบดีที่ 25 ตุลาคม 2550 เวลา 14:50 น. – 16:50 น.

ห้อง : Emerald

ประธานกลุ่มย่อย : ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

PW-31 เวลา 14:50-15:10 น.

Transmission Pricing for Enhanced Single Buyer Model in the Thai Electricity Supply Industry

Cattareeya Adsoongnoen Weerakorn Ongsakul Thanapong Suwanasri

"This paper proposes a transmission pricing for the Enhanced Single Buyer model in the Thai Electricity Supply Industry. The transmission pricing comprises three components; Transmission Use-of-System charge (TUoS), connection charge, and common service charge. The original TUoS charge is a uniform tariff for each voltage level. It does not send incentive signal to the transmission users depending on system usage and congestion. The sensitivity method is proposed to deliver the incentive signal to the users by multiplying the original TUoS tariff with the nodal sensitivity index for each connecting point. Both, active and reactive power are taken into consideration by analyzing MVA-flow via the transmission lines. The Thai 424-bus power system demonstrates the method exemplarily."

PW-32 เวลา 15:10-15:30 น.

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ณัฐพล ตาทิคุณ กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

"ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (Total Transfer Capability, TTC) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบไฟฟ้ากำลังโดยที่ระบบยังคงทำงานเป็นปกติและไม่ละเมิดขีดจำกัดใดๆ จนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการคำนวณค่า TTC เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านั้นมีข้อจำกัดที่ต้องอาศัยเวลาในการคำนวณค่อนข้างมากบทความนี้ นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่า TTC ด้วยวิธี Two-Step ซึ่งแบ่งการคำนวณออกเป็นสองขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนแรก เป็นการทำนายขีดจำกัดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ต่อจาก นั้น จะนำขีดจำกัดที่ทำนายได้ไปใช้ในการคำนวณค่า TTC อย่างละเอียดในขั้นตอนที่สองต่อไป เมื่อทำการทดลองใช้วิธีการที่นำเสนอกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 4 บัส 9บัส 14 บัส และ IEEE-118 บัส ปรากฏว่า ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม เป็นที่น่าพอใจ"

PW-33 เวลา 15:30-15:50 น.

Distributed Slack Bus Power Flow Part I: Mathematical Model and Framework

Keerati Chayakulkheeree Wichit Kleaursuk Punyarak Khamklar Worapong Pirindra

"This paper presents the mathematical model and test example of distributed slack bus power flow (DSPF) program. The method can diversify the power imbalance to voltage controlled buses in the system via participation factor. Therefore, the automatic generation controls (AGC) of the generators can be incorporated in this power flow model. The DSPF is tested with the IEEE 30 bus system. Numerical results shown that the method can effectively represent the generation control characteristics to the power flow model and potentially be applied to the overcoming competitive electricity supply industry."

PW-34 เวลา 15:50-16:10 น.

Distributed Slack Bus Power Flow Part II: Prospect and Challenge for Competitive Environments

Keerati Chayakulkheeree Nimit Boonpirom Pasawee Srimood Prakit Liengpradis

"This paper introduces an application of distributed slack bus power flow to competitive electricity supply industry (ESI). The participation factors of the generators are obtained by the weighted average of AGC accepted quantities in the ancillary services market. The results shows that the proposed method can satisfactory represent the system behavior that all generators are response to power imbalance. In addition, the proposed method results in the better justified AGC setting in competitive electricity market than that of using single slack bus power flow."

PW-35 เวลา 16:10-16:30 น.

An Investigation Study on Fuzzy Line Flow Limit Constraints in Competitive Electricity Markets

Keerati Chayakulkheeree Kasidaj TipamornwiwatEakarat Plunoi ChairatWisutirat Paradorn Raungkool

"In this paper, the fuzzy set theory is applied to model the soft constraint limits. The fuzzy constrained optimal dispatch is formulated as a fuzzy optimization problem and converted into a crisp optimization problem. An efficient successive linear programming method is then modified to solve the new problem. Numerical test results on IEEE 30-bus system show that the fuzzy constrained method could give a good trade-off between reducing generation cost and satisfying constraints, and produce more realistic generation schedules when a feasible solution cannot be obtained by using the crisp OPF."

PW-36 เวลา 16:30-16:50 น.

การจัดสรรกำลังการผลิตอย่างเหมาะสมโดยไม่ขึ้นกับบัสอ้างอิงของระบบ

กรณี พงษ์คุ้มภัย กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

"ในปัจจุบันที่ความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่เชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นทุนหลักก็มีราคาสูงขึ้นเช่นกัน การผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโดยที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดจึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ อย่างไรก็ดี วิธีการเหล่านั้นก็มีข้อจำกัดที่ผลการจัดสรรกำลังการผลิตขึ้นกับการเลือกบัสอ้างอิงในขั้นตอนของการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบดังนั้นผลเฉลยที่ได้จากวิธีดังกล่าวยังไม่อาจเรียกได้ว่าเป็นผลการจัดสรรกำลังที่เหมาะสมมากที่สุดจริง บทความนี้จะนำเสนอวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมโดยที่ผลเฉลยที่ได้จะไม่ขึ้นอยู่กับการเลือกบัสอ้างอิงในระบบ ซึ่งเราอาจจะสรุปได้ว่าผลการจัดสรรกำลังการผลิตที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอนี้เป็นวิธีที่คุ้มค่าและมีต้นทุนต่ำที่สุด"

PW3-4

วันศุกร์ที่ 26 ตุลาคม 2550 เวลา 10:30 น. – 12:10 น.

ห้อง : Emerald

ประธานกลุ่มย่อย : ผศ.ดร. กีรติ ชยะกุลคีรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม

PW-83 เวลา 10:30-10:50 น.

การออกแบบและสร้างอินทิเกรเตอร์แบบชดเชยชนิดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุหลายชั้น

ธนากร เพ็ญทอง ธนสิทธ์ หลิ่มสิริอนุสรณ์ ณัฐพงษ์ ครละคร นฤพนธ์ คีจริง
พีรวุฒิ ยุทธโกวิท นเศรษฐ พัฒนเดช มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

"บทความนี้ได้นำเสนอวิธีสการออกแบบสร้างอินทิเกรเตอร์แบบชดเชยชนิดตัวต้านทานและเก็บประจุแบบหลายชั้น เพื่อใช้ในระบบวัดที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเวลาแบบชั่วขณะ ซึ่งความผิดพลาดในการวัดเกิดจากช่วงเวลาบริเวณหางคลื่นมีค่าลดลง ในการทดสอบได้ทำการเปรียบระหว่างอินทิเกรเตอร์ชนิดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบเดิมหรือแบบ 1 ชั้น ด้วยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์กับการทดสอบจริงเมื่อนำอินทิเกรเตอร์ไปใช้งานร่วมกับขดลวดโรกอฟสกี ผลการทดสอบอินทิเกรเตอร์ที่ทำการออกแบบสร้างขึ้นใหม่มีความผิดพลาดในการวัดเวลาหางคลื่นน้อยกว่า 1 %"

PW-84 เวลา 10:50-11:10 น.

ผลของความชื้นต่อการเกิดเบรกดาวน์ไฟฟ้า กระแสตรงขั้วลบในแกปแท่ง-ระนาบและแกปทรงกลม-กลม

กิตติศักดิ์ ศรีสวัสดิ์ ศุภกิตติ์ ไชติโก ณัฐวุฒิ ชยาวนิช

"บทความนี้ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของผลของความชื้นใน อากาศมีผลกระทบอย่างไรต่อการเกิดเบรกดาวน์ไฟฟ้า กระแสตรงขั้วลบ ตามมาตรฐาน IEC 60-1 (1989) ที่ซึ่งประเทศไทยบางครั้งมีความชื้น สัมบูรณ์ที่สภาวะความหนาแน่นมาตรฐานหรือ h/δ มีค่าสูงเกินขอบเขตการ ยอมรับการใช้สมการปรับแก้สภาวะบรรยากาศสำหรับไฟฟ้า กระแสตรงที่ไม่ เกิน13 g/m3 (อ้างอิงที่ 20°C, 1,013 mbar) เพื่อให้เกิดความชัดเจนจึงได้อ้างอิง แนวทางการศึกษาและขั้นตอนการปฏิบัติต่างๆตามมาตรฐาน IEC 60-1 (1989) การทดสอบได้เลือกวิธีแบบหลายระดับ (Multiple level) เพื่อทดสอบหาค่า แรงดัน U50% ที่ความชื้นต่างๆกัน ตัวนำทดสอบชนิดแกปทองแดงชนิดแท่ง ปลายแหลม-ระนาบมีระยะแกปทดสอบที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 cm และตัวนำแกป ทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm มีระยะแกปที่ 1, 1.5, 2 และ 2.4 cm"

PW-85 เวลา 11:10-11:30 น.

ผลกระทบจากแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันต่อคุณสมบัติการฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง

นรงฤทธิ์ เสนาจิตร ไชยพร หล่อทองคำ

"บทความฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาผลกระทบจากแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันต่อคุณสมบัติการฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง โดยได้ออกแบบชุดทดสอบ (Test Cell) และใช้เกณฑ์การทดสอบเก็บผลเชิงสถิติตามมาตรฐาน ASTM ทำการทดสอบหาค่าความคงทนฉนวนน้ำมันหม้อแปลงด้วยชุดอิเล็กโตรด 2 แบบ คือ แบบระนาบ-ระนาบ และ แบบทรงกลม-ทรงกลม ทดสอบเปรียบเทียบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน 1.2/50 μs และแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันที่ระดับความชันหน้าคลื่น 2 ช่วง คือ 2500 – 3000 kV/μs และ 3500 – 4000 kV/μs ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปของค่าแรงดันเบรกดาวน์เชิงสถิติและในรูปของกราฟแสดงคุณลักษณะสมบัติแรงดัน-เวลา (v-t curve) ผลที่ได้พบว่าทั้งค่าแรงดันเบรกดาวน์และเส้นเขตอิมพัลส์ของน้ำมันหม้อแปลงกรณีทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์หน้าคลื่นชันจะมีค่าสูงกว่ากรณีแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน โดยไม่ขึ้นกับรูปทรงอิเล็กโตรดที่ทดสอบทั้งขั้วบวกและขั้วลบ"

PW-86 เวลา 11:30-11:50 น.

การออกแบบและสร้างตัวเก็บประจุมาตรฐานเพื่อใช้ในการวัดแรงดันกระแสสลับ

สุชาติ มณฑปใหญ่ เกริก แซ่เลื่อง ฐิติพงษ์ เจียงสุขใส จิราภุ จันทร์ชู ณัฐพันธ์ บุญเสนอ

"บทนี้นำเสนอ การออกแบบและสร้างตัวเก็บประจุอัดก๊าซ พิกัด 17 pF 200kV ซึ่งตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้นนี้จะสามารถใช้ในการวัดแรงดันกระแสสลับด้วยหลักการโวลเตจดิไวเดอร์ และหลักการซับและโฟเทสคิว ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบได้ใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยศึกษาพฤติกรรมของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนตัวเก็บประจุก่อนที่มีการสร้าง และทดลองจริงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งในส่วนการทดลองความคงทนต่อแรงดันกระแสสลับและอัตราส่วนลดทอนแรงดันที่คงที่ เมื่อใช้ตัวเก็บประจุนี้ในการวัดแรงดันสูงกระแสสลับ"

PW-87 เวลา 11:50-12:10 น.

การเปรียบเทียบการตรวจจับสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนโดยอุปกรณ์คาบเกี่ยวกับการใช้สายอากาศที่สร้างขึ้นและสายอากาศมาตรฐาน VHF/UHF

ประวิทย์ เพ็ชรผึ้ง มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ นเศรษฐ พัฒนเดช พีรวุฒิ ยุทธโกวิท

"บทความวิจัยนี้นำเสนอการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนด้วยสายอากาศมาตรฐานและสายอากาศที่ออกแบบสร้างขึ้นเปรียบเทียบกับ วิธีดั้งเดิม (Conventional method) โดยจำลองวัสดุที่ผิดพร่องขึ้น 3 ลักษณะ คือ โคโรน่าดิสชาร์จ ดิสชาร์จภายใน และดิสชาร์จตามผิว แล้วทำการตรวจวัดดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สำหรับ การตรวจวัดด้วยสายอากาศจะทำการตรวจวัดในห้องชีลด์ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยการตรวจวัดแบบดั้งเดิมนั้นขนาดของดิสชาร์จบางส่วนจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่ป้อน ส่วนมุมเฟสที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของความผิดพร่อง ในกรณีการตรวจวัดด้วยสายอากาศมาตรฐานและสายอากาศที่ออกแบบนั้นจะมีความสอดคล้องกันกล่าวคือขนาดของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับระดับแรงดันทดสอบ ส่วนความถี่ที่เกิดขึ้นของดิสชาร์จบางส่วนของการเกิดความผิดพร่องแต่ละชนิดจะแตกต่างกันโดยที่ ค่าความถี่ของโคโรน่าดิสชาร์จปรากฏเด่นชัดภายในช่วงความถี่ 60 MHz ถึง 200 MHz ดิสชาร์จภายในมีความถี่ตั้งแต่ 40 MHz ถึง 80 MHz และดิสชาร์จตามผิวมีช่วงความถี่ที่สามารถตรวจวัดได้ 50 MHz ถึง 100 MHz และช่วงความถี่ 150 MHz ถึง 250 MHz เป็นช่วงความที่ปรากฏชัดเจน ซึ่งกล่าวในเบื้องต้นได้ว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นนี้สามารถตรวจวัดสัญญาณการเกิดดิสชาร์จบางส่วนได้"

An Investigation Study on Fuzzy Line Flow Limit Constraints in Competitive Electricity Markets

Keerati Chayakulkheeree, Kasidaj Tipamornwiwat, Eakarat Plunoi, Chairat Wisutirat, and Paradorn Raungkool

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Sripatum University, Bangkok, Thailand, E-mail: keerati.ch@spu.ac.th

Abstract

In this paper, the fuzzy set theory is applied to model the soft constraint limits. The fuzzy constrained optimal dispatch is formulated as a fuzzy optimization problem and converted into a crisp optimization problem. An efficient successive linear programming method is then modified to solve the new problem. Numerical test results on IEEE 30-bus system show that the fuzzy constrained method could give a good trade-off between reducing generation cost and satisfying constraints, and produce more realistic generation schedules when a feasible solution cannot be obtained by using the crisp OPF.

Keywords: Optimal Power Dispatch, Competitive electricity market, Fuzzy Linear Programming

1. Introduction

In deregulated power systems, one of the main challenges to the independent system operator (ISO) is to matching supply and demand in an optimal and secure manner. That is, ISO must hold an available aggregate generating supply enough to meet the required consumer demand under the generating and system constraints and capable of responding quickly to changes in load in real time.

Many techniques have been developed over the years to formulate and solve the optimal power dispatch for electricity markets. Linear programming (LP) is one of most successful techniques that has been applied to determine generation dispatch under this price based environment. For example, Fahd et. al [1] presented an application of LP to maximize the savings of interchange schedule to each utility participant in energy brokerage system. Rau [2] formulated and solved the optimal dispatch problem as a mixed integer linear program to buy/sell electricity and ancillary services. The line flow limits were neglected to simplify the problem. However, such constraint can not be ignored in the real practical system.

To incorporate line limit constraint, an optimal dispatch problem can be formulated as an extended problem in the conventional optimal power flow (OPF) which involves the determination of the instantaneous optimal steady state of an electric power system. Different classes of the OPF problem, tailored towards special-purpose applications, are defined by selecting different functions to be optimized, different sets of controls, and different sets of constraints. Different solution approaches have been developed to solve the different classes of the OPF problem, linear programming, successive quadratic programming, successive separable programming, Newton's method and the interior point method. Most of the proposed methods that have been developed over the last ten years are based on real and reactive de-coupling.

However, a serious drawback in OPF is the crisp treatment of the constraints. Constraint limits are given fixed values that have to be met at all times. Crisp treatment of the constraints in the OPF problem usually leads to over-conservative solutions. Also, when crisp constraints are not satisfied in the conventional mathematical programming, it is difficult to learn what kinds of constraints are critical to what extent. Realistic OPF solutions require special attention to the constraint enforcement and control action curtailment. From a practical point of view, an OPF does not need to find a rigid minimum solution. Certain trade-off among objective function and constraints would be desirable. The constraints of a real-life system, in terms of physical realizability, can be divided into two groups including physical limits of controls and operating limits. Physical limits on the control variables cannot be violated. However, operating limits are imposed to enhance security and do not represent physical bounds. They can be relaxed temporarily, if necessary. For example, if the limit for each transmission line is classified into two types as normal and emergency limits, in general, operators desire to economically operate the system within the normal limits. The fuzzy set theory is a natural and appropriate tool to represent inexact relation. Based on the fuzzy set theory, an OPF problem can be modified to include fuzzy constraints and fuzzy objective functions. The problem can then be converted to a crisp optimization problem, which can be solved by conventional mathematical programming approaches. These developments have made it possible to use this technology to overcome some of the limitations of the conventional OPF.

K.Tomsovic [3] and K.H.Abdul-Rahman & S.M.Shahidehpour [4] presented the application of fuzzy linear programming for solve loss minimization as a voltage control problem with soft bus voltage constraints. B. Venkatesh, et.al. [5] proposed the multi objective fuzzy linear programming for solve loss minimization and voltage stability margin maximization in the reactive power scheduling problem. X. Guan, et.al. [6] apply a fuzzy set method for taking into account the uncertainty (fuzzy nature) of the inequality (line flow)

PW35

constraints in OPF. The model formulated for system cost minimization the vertically integrated ESI. W.H. Edwin Liu and X.Guan [7] apply a fuzzy set method to efficiently model the fuzzy constraint limits (line flow) and control action curtailment in OPF. Similarly, the model formulated for system cost minimization the vertically integrated ESI.

In this study, the fuzzy set theory is applied to model the soft constraint limits. The fuzzy constrained optimal dispatch is formulated as a fuzzy optimization problem and converted into a crisp optimization problem. An efficient successive linear programming method is then modified to solve the new problem. Numerical test results on IEEE 30-bus system show that the fuzzy constrained method could give a good trade-off between reducing generation cost and satisfying constraints, and produce more realistic generation schedules when a feasible solution cannot be obtained by using the crisp OPF.

2. Fuzzy Line Flow Limit Constraint in Electricity Market

The objective functions for optimal power dispatch in electricity market can be expressed as,

Minimize $$\sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NS_i} S_{ij}P_{Gij}, \quad (1)$$

in a single biding (non demand side bidding, DSB) markets.

Subject to the power balance constraints,

$$P_{Gi} - P_{Di} = \sum_{j=1}^{NB} |V_i||V_j||y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_{ij}),\ i = 1,\ldots,NB, \quad (2)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = -\sum_{j=1}^{NB} |V_i||V_j||y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_{ij}),\ i = 1,\ldots,NB, \quad (3)$$

where,

$$P_{Gi} = \sum_{j=1}^{NS_i} P_{Gij},\ \text{for } i = 1, \ldots, NG, \quad (4)$$

$$0 \le P_{Gij} \le P_{Gij}^{\max},\ \text{for } j = 1, \ldots, NS_i, \quad (5)$$

and the linearized line flow limit constraints which are treated as soft constraints,

$$f_l = f_l^o + \sum_{i=1}^{NG} a_{li}\cdot(P_{Gi} - P_{Gi}^o) \lesssim f_l^{\max},\ \text{for l=1, …, NC}, \quad (6)$$

where,

$$f_l^{\max} = \sqrt{\text{line } MVA \text{ limit}^2 - \text{line } MVAR \text{ limit}^2}, \quad (7)$$

$$a_{li} = \frac{df_l}{dP_i}, \quad (8)$$

where,

f_l is MVA flow of line or transformer l (MVA),

$f_l^{\max}$ is MVA flow limit of line or transformer l (MVA),

NB is total number of buses,

NC is total number of line flow and transformer loading terminal constraints,

NG is total number of buses connected to generators,

NS_i is number of segments of generator supply cost function at bus i,

$P_{Gij}^{\max}$ is generator offer block j at bus i (MW)

$P_{Gi}^{\max}$ is maximum real power generation at bus i (MW),

$P_{Gi}^{\min}$ is minimum real power generation at bus i (MW),

P_{Di} is total real power demand at bus i (MW),

P_{Gi} is real power generation at bus i (MW),

P_{Gij} is accepted generator offer block j at bus i (MW),

P_{loss} is total system real power loss (MW),

Q_{Gi} is reactive power voltage controlled generation at bus i (MVAR),

Q_{Di} is reactive power demand at bus i (MVAR),

S_{ij} is offer price block j of generator at bus i ($/MWh),

$|y_{ij}|$ is magnitude of the y_{ij} element of Y_{bus} (mho),

Z_i is committed or uncommitted status of generator at bus i,

θ_{ij} is angle of the y_{ij} element of Y_{bus} (radian), and

δ_{ij} is voltage angle difference between bus i and j (radian).

In the fuzzy line constraints OPD formulation, the limit constraint in Eq.(7) is treated as fuzzy constraint as shown in Fig.1. The membership function of the objective is obtained by defining the solution space from the worst case value (when the line limit constraints are treated at its continuous operating limits) and the best value (when the line limit constraints are treated at its emergency operating limits).

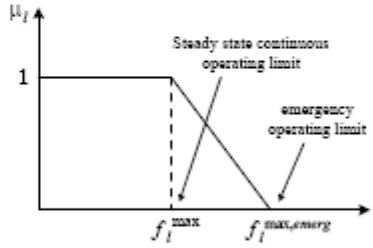

Fig. 1 The fuzzy membership function of the line limit constraint

Accordingly, the steady state continuous operating limit can be temporarily violated. However, the emergency-operating limit can never be violated. The membership function of the objective function in the single and double side electricity markets are shown in

Fig. 2. Table 1. shows the example data of transmission lines and transformer limits taken from the IEEE reliability test system 1996 (RTS-96).

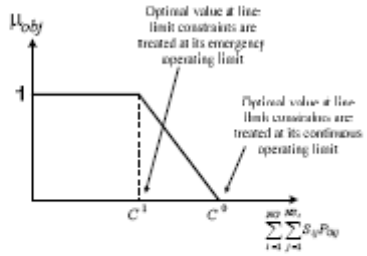

Fig. 2 The fuzzy membership function of the objective functions of Single side bidding electricity market

Table 1. Typical transmission lines and transformer limits (IEEE RTS-96)

Continuous rating (MVA)	Long-time emergency rating (24 hr)	Short-time emergency rating (15 min)
Transmission Line		
175 (100%)	193 (~110%)	200 (~115%)
175 (100%)	208 (~120%)	220 (~125%)
500 (100%)	600 (120%)	625 (125%)
Transformer		
400 (100%)	510 (~125%)	600 (150%)
722 (100%)	893 (~120%)	893 (~120%)

Since we try to optimize the objective function while satisfying the constraints, the optimal decision in the fuzzy environment is defined as the intersection of the fuzzy sets describing the constraints and objective. So, the overall membership function value is considered as,

$$\lambda = \min[\mu_{obj1}, \mu_{l1}, \ldots, \mu_{lNC}] \quad (9)$$

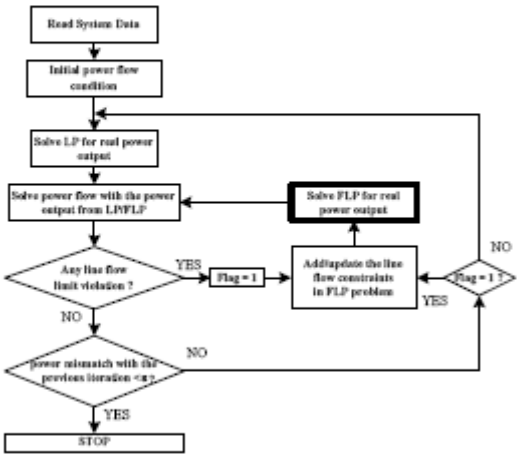

Fig. 3 The computational procedure

The higher the membership values the better the solution. Thus, the best solution is,

$$\max\lambda = \max\text{-}\min[\mu_{obj1}, \mu_{l1}, \ldots, \mu_{lNC}] \quad (10)$$

Where

λ is the overall membership function of the result,

μ_{obj} is the membership function of the fuzzy objective function,

μ_{li} is the membership function of the fuzzy line flow constraint of line *i*.

The overall computational procedure can be expressed as in Fig. 3.

3. Numerical Results

The test data are obtained from the optimal power flow analysis data on the modified IEEE 30-bus system. Its network diagram is shown in [8] with the line 11-9 limit is set to 60 and 50 MVA instead of 65 MVA. The dispatch result is shown in Table 2. The line 9-11 flow is violate its limit and resulted in binding solution on the line 11-9 flow limit constraint.

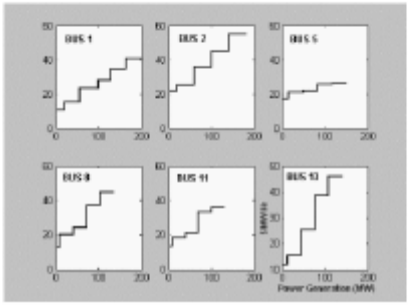

Fig.4 The Generator's offers of IEEE 30 bus system

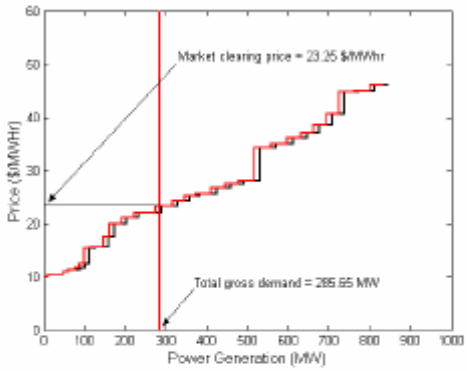

Fig.5Dispatch results when line 11-9 limit 60 MVA with Crisp Constrained Optimal Power Dispatch (LP)

Table 2 Total cost and flow of congested line (11-9) without demand side bidding

Line 11-9 limit (MVA)	Linear Programming		Fuzzy Linear Programming	
	Line 11-9 flow (MVA)	Total Cost ($/hr)	Line 11-9 flow (MVA)	Total Cost ($/hr)
60	60.000	4741.060	62.994	4704.742
50	50.000	4864.398	52.493	4833.352

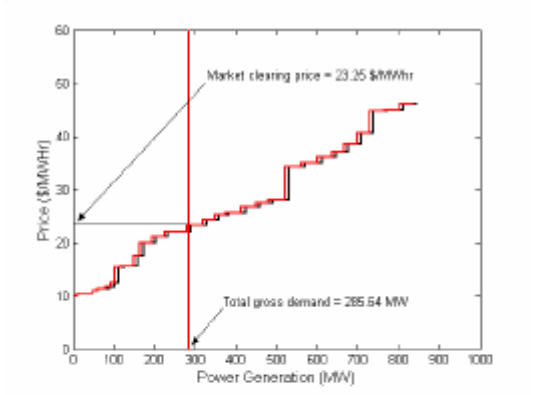

Fig.6 Dispatch when line 11-9 limit 60 MVA with Fuzzy Constrained Optimal Power Dispatch (FLP)

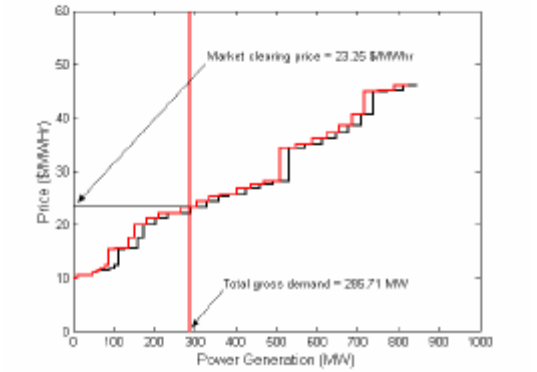

Fig.7 Dispatch results when line 11-9 limit 50 MVA Crisp Constrained Optimal Power Dispatch (LP)

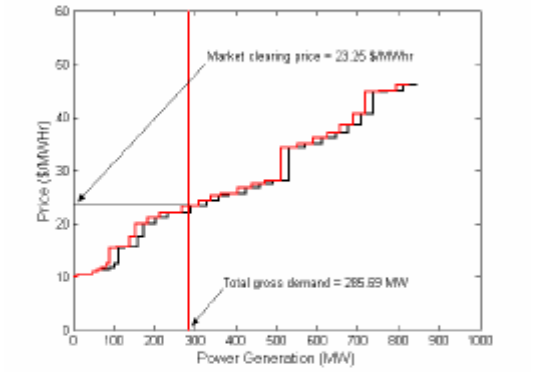

Fig.8 Dispatch results when line 11-9 limit 50 MVA with Fuzzy Constrained Optimal Power Dispatch (FLP)

The dispatch results are shown in Figs. 5 and 6 The total system cost and the flow of the congested line under linear programming and fuzzy linear programming are presented in Table 2.

4. Conclusions

In this paper, the benefit from soft characteristics of transmission line and transformer limit constraints can be acquired in the fuzzy constrained optimal power dispatch problem. The fuzzy linear programming is applied for solving the soft characteristics of transmission line and transformer limit constraints by trading-off between the objective and constraints in a fuzzy reasoning sense. The experimental results show the higher social welfare and lower total generating cost in the electricity market, when the transmission line and transformer limit constraints are treated as fuzzy constraints in the dispatch problem.

References

[1] G. Fahd, D. A. Richards, and G. B. Sheble, "The implementation of an energy brokerage system using linear programming," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 7, no. 1, pp. 46-53, 1992.

[2] N. S. Rau, "Optimal dispatch of a system based on offers and bids-A mixed integer LP formulation," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 14, no. 1, pp. 274-279, 1999.

[3] K. Tomsovic, "A Fuzzy Linear Programming Approach to the Reactive Power/Voltage Control Problem," IEEE Transaction on Power System, vol. 7, no. 1, pp. 287-293, 1992.

[4] H. K. Abdul-Rahman and S. M. Shahidehpour, "A Fuzzy-Based Optimal Reactive Power Dispatch," IEEE Transaction on Power System, vol. 8, no. 2, pp. 662-670, 1993.

[5] B. Venkatesh, G. Sadasivam, and M. Abdullah Khan, "A New Optimal Reactive Power Scheduling Method for Loss Minimization and Voltage Stability Margin Maximization Using Successive Multi-Objective Fuzzy LP Technique," IEEE Transaction on Power System, vol. 15, no. 2, pp. 844851, 2000.

[6] X. Guan, W.-H. Edwin Liu, and A. D. Papalexopoulos, "Application of Fuzzy Set Method in an Optimal Power flow," Electric Power System Research, vol. 34, pp. 11-18, 1995.Loi Lei Lai, Power System Restructuring and Deregulation, John Wiley and Son, West Sussex, England, 2001.

[7] W.-H. Edwin and Liu X. Guan, "Fuzzy Constraint Enforcement and Control Action Curtailment in an Optimal Power Flow," IEEE Transaction on Power System, vol. 11, no. 2, pp. 639-645, 1996.

[8] O. Alsac and B. Stott, "Optimal load flow with steady state security," IEEE Transaction on Power Apparatus and System, vol. PAS93, no. 3, pp. 745-751, 1974.